



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 100 10 237 A 1

21 Aktenzeichen: 100 10 237.9
22 Anmeldetag: 2. 3. 2000
43 Offenlegungstag: 13. 9. 2001

51 Int. Cl. 7:
H 04 B 10/04
H 04 B 10/12
H 01 S 3/102
H 01 S 3/17
H 01 S 3/0941

DE 100 10 237 A 1

71 Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

72 Erfinder:
Krummrich, Peter, Dr., 81379 München, DE

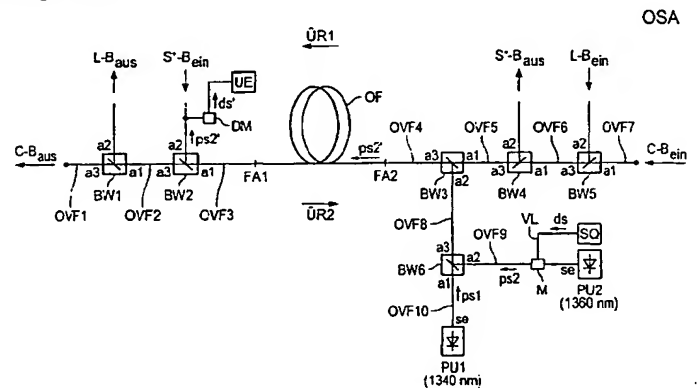
56 Entgegenhaltungen:
DE 197 52 982 A1
Trigg George L., Encyclopedia of Applied Physics,
Vol. 15 "Power Electronics to Raman Scattering,
1996, S. 87-92, insb. Fig. 27;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zur Übertragung von zusätzlichen optischen Signalen

57 Bei der Übertragung von optischen Signalen ($C-B_{\text{ein}}$, $L-B_{\text{ein}}$) in herkömmlichen Übertragungsbändern - insbesondere C-Band und L-Band - und zusätzlichen optischen Signalen (S^+-B_{ein}) im S^+ -Band über eine optische Faser (OF) wird mindestens ein optisches Pumpsignal ($ps1, ps2$) zur Verstärkung aufgrund des Raman-Effektes der im S^+ -Band übertragenen zusätzlichen optischen Signale (S^+-B_{ein}) in die optische Faser (OF) eingekoppelt, wobei die Wellenlänge des mindestens einen optischen Pumpsignals ($ps1, ps2$) im Wellenlängenbereich von 1320 nm bis 1370 nm liegt.



DE 100 10 237 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Übertragung von optischen Signalen in herkömmlichen Übertragungsbändern und zusätzlichen optischen Signalen im S⁺-Band über eine optische Faser.

Aufgrund des rasanten Wachstums des Internets ist ein ständig steigender Bedarf an leistungsfähiger Übertragungskapazität in der Weitverkehrstechnik, insbesondere in optischen Übertragungssystemen, erkennbar. Hierbei bieten optische Übertragungssysteme, insbesondere nach dem WDM-Prinzip (Wavelength Division Multiplexing) arbeitende Übertragungssysteme, eine Möglichkeit, die über eine optische Faser übertragbare Datenkapazität durch Steigerung der verwendeten WDM-Kanalzahl zusätzlich zu erhöhen. Derzeit werden überwiegend optische Signale im C-Band (Wellenlängenbereich der WDM-Kanäle von ca. 1530–1560 nm) übertragen, wobei bereits erste optische Übertragungssysteme für das L-Band (Wellenlängenbereich der WDM-Kanäle von ca. 1570 bis 1605 nm) angekündigt worden sind – herkömmliche Übertragungsbänder. Desweiteren wurde durch die Entwicklung des Thulium-dotierten optischen Verstärkers mit einem nutzbaren Gewinnspektrum im S⁺-Band (Wellenlängenbereich der WDM-Kanäle von ca. 1450 bis 1510 nm) eine zusätzliche Übertragung von weiteren optischen WDM-Kanälen im S⁺-Band ermöglicht, wodurch eine zusätzliche Steigerung der optischen Übertragungskapazität realisiert werden kann.

In bestehenden und zukünftigen optischen WDM-Übertragungssystemen werden optische Signale bzw. Übertragungssignale hauptsächlich im C-Band übertragen. Im Zuge einer Erweiterung bereits installierter C-Band-Übertragungssysteme wäre es insbesondere vorteilhaft, ein bereits bestehendes C-Band-Übertragungssystem für die Übertragung im L- und S⁺-Band zusätzlich zu nutzen. Ein wesentliches Kriterium bei dem Entwurf eines derartigen optischen Übertragungssystems stellt hierbei die optische Streckendämpfung dar. Das spektrale Streckendämpfungsminimum der optischen Faser bzw. Übertragungsfaser, insbesondere einer Silikat-Glasfaser, (ca. 0,19 dB/km) liegt im Wellenlängenbereich um 1550 nm. Sowohl im C-Band als auch im L-Band nimmt die Streckendämpfung von den am weitesten von Streckendämpfungsminimum entfernt liegenden WDM-Kanalwellenlängen um ca. 0,01 dB/km zu. Die im S⁺-Band liegenden kürzeren Wellenlängen weisen aufgrund des starken Anstiegs des Streckendämpfungsverlaufs in der optischen Faser hingegen eine um ca. 0,1 dB/km höhere Streckendämpfung, d. h. eine Streckendämpfung von ca. 0,29 dB/km, als das Minimum der Faserdämpfung im C-Band auf. Das bedeutet, dass im S⁺-Band liegende WDM-Kanäle eine deutlich höhere Streckendämpfung als in den herkömmlichen Übertragungsbändern – C- und L-Band – liegende WDM-Kanäle erfahren.

Desweiteren ist aus der Veröffentlichung "Trinal-wave-lengthband WDM transmission over dispersion-shifted fibre" von J. Kani, et al., Electronic Letters, 18. Februar 1999, Vol. 35, No. 4 bekannt, dass durch die stimulierte Raman-Streuung bei hohen Kanalpegeln bzw. Gesamtleistungen der optischen Übertragungssignale eine Zusatzdämpfung der WDM-Kanäle in S⁺-Band verursacht werden kann. Der im S⁺-Band hervorgerufene stimulierte Raman-Effekt transfert hierbei Energie von den kürzeren Wellenlängen – S⁺-Band – zu längeren Wellenlängen – C- und L-Band – und hebt hierdurch die Kanalpegel der WDM-Kanäle im C- und L-Band auf Kosten der WDM-Kanäle in S⁺-Band an.

Die höhere Streckendämpfung im S⁺-Band kann prinzipiell durch höhere Kanalpegel am optischen Fasereingang ausgeglichen werden. Hierbei wird allerdings der maximal

realisierbare Kanalpegel für die Übertragung der optischen Signale durch die in der optischen Faser entstehenden nicht-linearen Effekte wie beispielsweise Selbstphasenmodulation oder Vierwellenmischung begrenzt. Jedoch können beim Betrieb von optischen Übertragungssystemen im C- und L-Band mit derartig hohen Kanalpegeln die Kanalpegel der im S⁺-Band übertragenen Übertragungskanäle nicht im erforderlichen Maße angehoben werden.

Einen weiteren Ansatz stellt die Verwendung geringerer Kanalraten im S⁺-Band im Vergleich zum C- und L-Band dar. Bei vergleichbaren Kanalpegeln am Fasereingang weisen die WDM-Kanäle im S⁺-Band aufgrund der höheren Faserdämpfung einen geringeren optischen Signal-Rauschabstand (OSNR) auf. Durch die geringeren Kanalraten im S⁺-Band können jedoch die bestehenden geringen Signal-Rauschabstände im S⁺-Band mit Hilfe von optischen Empfängern für niedrige Datenraten ausgewertet werden, wodurch die höhere Streckendämpfung im S⁺-Band tolerierbar wird.

Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe besteht darin, die Übertragung weiterer WDM-Kanäle in einem bereits bestehenden optischen WDM-Übertragungssystem im S⁺-Band ohne hohen technischen Aufwand zu realisieren und als weitere Aufgabe, die den erhöhte Faserdämpfung im S⁺-Band im Vergleich zu dem C- und L-Band auszugleichen. Die Aufgabe wird ausgehend von einem Verfahren gemäß dem Merkmal des Oberbegriffs des Patentanspruches 1 durch die Merkmale des kennzeichnenden Teils gelöst.

Der wesentliche Aspekt des erfindungsgemäßen Verfahrens ist insbesondere darin zu sehen, daß mindestens ein optisches Pumpsignal zur Verstärkung aufgrund des Raman-Effektes der im S⁺-Band übertragenen zusätzlichen optischen Signale in die optische Faser eingekoppelt wird, wobei die Wellenlänge des mindestens einen optischen Pumpsignals im Wellenlängenbereich von 1320 nm bis 1370 nm liegt. Hierdurch wird besonders vorteilhaft die höhere Streckendämpfung im S⁺-Band mit Hilfe der stimulierten Raman-Streuung in der optischen Übertragungsfaser gezielt ausgeglichen, d. h. insbesondere die im S⁺-Band liegenden WDM-Kanäle bzw. die im S⁺-Band zu übertragenden zusätzlichen optischen Signale erfahren eine effektive Verstärkung, jedoch die Kanäle im C- und im L-Band werden nur beschränkt verstärkt. Somit wird durch das erfindungsgemäße Verfahren ein einfaches technisches Verfahren vorgestellt, ein bereits bestehendes optisches WDM-Übertragungssystem für die Übertragung weiterer WDM-Kanäle, insbesondere im S⁺-Band, mit geringen technischen Aufwand hochzurüsten.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist darin zu sehen, daß die Amplitude des mindestens einen optischen Pumpsignals so gewählt ist, daß die Faserdämpfungsunterschiede im C-Band, L-Band und S⁺-Band der optischen Faser nahezu ausgeglichen werden – Anspruch 2. Durch die erfindungsgemäße Wahl der Amplitude des mindestens einen optischen Pumpsignals kann besonders vorteilhaft die höhere Faserdispersion im S⁺-Band soweit kompensiert werden bis diese annähernd der Faserdispersion im C-Band und L-Band der optischen Faser entspricht.

Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist darin zu sehen, daß mindestens zwei optische Pumpsignale mit unterschiedlicher Wellenlänge und/oder Lichtleistung in das optische Übertragungsmedium zur Anpassung der Pegel der verstärkten optischen Signale an einen vorgegebenen Amplitudenverlauf eingekoppelt werden – Anspruch 3. Durch die erfindungsgemäße Abstimmung der Pumpwellenlänge und der Pumpleistung der optischen Pumpsignale können die Pegel der im S⁺-Band übertragenen

zusätzlichen optischen Signale derartig verstärkt werden, daß die Pegel der zusätzlichen optischen Signale nach der Übertragung im S⁺-Band einen vorgegebenen Amplitudenverlauf aufweisen, wodurch das im S⁺-Band vorliegende Streckendämpfungsspektrum nahezu vollständig kompensiert werden kann.

Zusätzlich wird erfindungsgemäß das mindestens eine optische Pumpsignal kontradirektional zu den verstärkenden zusätzlichen optischen Signalen in das optische Übertragungsmedium eingekoppelt – Anspruch 4. Desweiteren kann das optische Pumpsignal mit einem Datensignal zur Realisierung eines Überwachungskanal moduliert werden – Anspruch 5, wobei hierbei die Modulationsfrequenz größer als 10 kHz gewählt wird – Anspruch 6. Um ein störendes Überkoppeln zwischen dem Intensitätsrauschen der optischen Pumpsignale und der optischen Signale bzw. Übertragungssignalen in dem für die Übertragung genutzten Frequenzbereich zu reduzieren bzw. zu vermeiden, wird erfindungsgemäß das mindestens eine optische Pumpsignal kontradirektional zu den verstärkenden zusätzlichen optischen Signalen in die optische Faser eingekoppelt, d. h. das S⁺-Band der optischen Übertragungsstrecke wird kontradirektional gepumpt. Eine derartige kontradirektionale Pumpkonfiguration resultiert in einer Tiefpaßcharakteristik mit einer Grenzfrequenz von ca. 10 kHz, d. h. durch das kontradirektionale Pumpen weisen die optischen Pumpsignale eine ähnliche Signalverzerrung auf wie bei einer Tiefpaßfilterung mit einem eine Grenzfrequenz von ca. 10 kHz aufweisenden Tiefpaßfilter. Dieser Effekt kann zur Realisierung von weiteren Übertragungskanälen ausgenutzt werden, indem mit Hilfe eines deutlich oberhalb der Grenzfrequenz von ca. 10 kHz modulierten Pumpsignals zusätzliche Daten bzw. Datensignale übertragen werden.

Die Erfindung wird im folgenden anhand eines Blockschaltbildes näher erläutert.

In Fig. 1 ist beispielsweise eine Konfiguration eines optischen Streckenabschnittes OSA dargestellt, wobei durch den optischen Streckenabschnitt OSA ein Teil eines WDM-Übertragungssystems repräsentiert wird, über den eine Datenübertragung im C-, L- und S⁺-Band, d. h. in den durch die jeweiligen Bändern repräsentierten WDM-Kanälen, realisierbar ist. Der in Fig. 1 dargestellte optische Streckenabschnitt OSA weist eine optische Übertragungsfaser OF mit einem ersten Faseranschluß FA1 und einem zweiten Faseranschluß FA2 auf. Desweiteren sind eine erste bis sechste Bandweiche BW1 bis BW6 mit jeweils einem ersten, zweiten und dritten Anschluß a1, a2, a3 vorgesehen, über die optische Übertragungssignale bzw. Signale OS ein oder ausgekoppelt werden können. Die Anschlüsse a1 bis a3 der optischen Bandweichen BW1 bis BW6 sind über erste bis zehnte optische Verbindungsfaser OVF1 bis OVF10 verbunden. Zur Erzeugung von optischen Pumpsignalen ps1, ps2 sind eine erste optische Pumpeinheit PU1 und eine zweite optische Pumpeinheit PU2 bei dem in Fig. 1 dargestellten optischen Streckenabschnitt OSA vorgesehen.

Die erste optische Verbindungsfaser OVF1 ist an den dritten Anschluß a3 der ersten optischen Bandweiche BW1 angeschlossen und der erste Anschluß a1 der optischen Bandweiche BW1 ist über die zweite optische Verbindungsfaser OVF2 an den dritten Anschluß a3 der zweiten optischen Bandweiche BW2 geführt. Desweiteren ist der erste Anschluß a1 der zweiten optischen Bandweiche BW2 über die dritte optische Verbindungsfaser OVF3 mit dem ersten Faseranschluß FA1 der optischen Faser OF bzw. Übertragungsfaser OF verbunden. Der zweite Faseranschluß FA2 der optischen Faser OF ist über die vierte optische Verbindungsfaser OVF4 an den dritten Anschluß a3 der dritten optischen Bandweiche BW3 geführt sowie der zweite An-

schluß a2 der dritten optischen Bandweiche BW3 über eine achte optische Verbindungsfaser OVF8 an den dritten Anschluß a3 der sechsten optischen Bandweiche BW6 angeschlossen. Der erste Anschluß a1 der dritten optischen Bandweiche BW3 ist über die fünfte optische Verbindungsfaser OVF5 mit dem dritten Anschluß a3 der vierten optischen Bandweiche BW4 verbunden, an dessen ersten Anschluß a1 über die sechste optische Verbindungsfaser OVF6 der dritte Anschluß a3 der fünften optischen Bandweiche BW5 angeschlossen ist. Der erste Anschluß a1 der fünften optischen Bandweiche BW5 ist schließlich mit der siebten optischen Verbindungsfaser verbunden. Die sechste optische Bandweiche BW6 ist mit der ersten und zweiten optischen Pumpeinheit PU1, PU2 verbunden, wobei insbesondere der erste Anschluß a1 der sechsten optischen BW6 an den Signalausgang se der ersten optischen Pumpeinheit PU1 und der zweite Ausgangsanschluß a2 der sechsten optischen Bandweiche BW6 an den Signalausgang se der zweiten optischen Pumpeinheit PU2 angeschlossen ist.

In dem erfindungsgemäßen optischen WDM-Übertragungssystem werden somit beispielsweise ein optisches C-Band-Signal C-B_{ein}, ein optisches L-Band-Signal L-B_{ein} und ein optisches S⁺-Band-Signal S⁺-B_{ein} übertragen, wobei das optische C-Band-Signal C-B_{ein}, das optische L-Band-Signal L-B_{ein} und das optische S⁺-Band-Signal S⁺-B_{ein} jeweils mehrere WDM-Kanäle enthalten können. Das optische C-Band-Signal C-B_{ein} wird am Beginn des in Fig. 1 dargestellten optischen Streckenabschnitt OSA in die siebte optische Verbindungsfaser OVF7 eingekoppelt. Das optische C-Band-Signal C-B_{ein} wird von der siebten optischen Verbindungsfaser OVF7 über die fünfte optische Bandweiche BW5 und über die sechste optische Verbindungsfaser OVF6 zur vierten optischen Bandweiche BW4 übertragen. Von der vierten optischen Bandweiche BW4 wird das optische C-Band-Signal C-B_{ein} über die fünfte optische Verbindungsfaser OVF5 an die dritte optische Bandweiche BW3 weitergeleitet und durch diese über die vierte optische Verbindungsfaser OVF4 an den zweiten Faseranschluß FA2 der optischen Faser OF abgegeben.

Nach der Übertragung des C-Band-Signals C-B_{ein} über die optische Faser OF wird das optische C-Band-Signal C-B_{ein} am ersten Faseranschluß FA1 der optischen Faser OF über die dritte optische Verbindungsfaser OVF3 an die zweite optische Bandweiche BW2 abgegeben. Von dieser wird das optische C-Band-Signal C-B_{ein} über die zweite optische Verbindungsfaser OVF2 zur ersten optischen Bandweiche BW1 und schließlich über die erste optische Verbindungsfaser OVF1 zum Ende des in Fig. 1 dargestellten optischen Streckenabschnittes OSA übertragen. Am Ausgang bzw. Ende der ersten optischen Verbindungsfaser OVF1 wird somit ein über den optischen Streckenabschnitt OSA übertragene optisches C-Band-Signal C-B_{aus} abgegeben.

Zusätzlich zu dem optischen C-Band-Signal C-B_{ein} wird ein optisches L-Band-Signal L-B_{ein} übertragen, welches über die fünfte optische Bandweiche BW5 in die sechste optische Verbindungsfaser OVF6 eingekoppelt wird, d. h. das L-Band-Signal L-B_{ein} wird an den zweiten Anschluß a2 der fünften optischen Bandweiche BW5 geführt und somit in die an den dritten Anschluß a3 der fünften optischen Bandweiche BW5 angeschlossene sechste optische Verbindungsfaser OVF6 eingekoppelt. Das optische L-Band-Signal L-B_{ein} und das optische C-Band-Signal C-B_{ein} werden über den optischen Streckenabschnitt OSA in einer ersten Übertragungsrichtung UR1 übertragen. Somit wird das optische L-Band-Signal L-B_{ein} über die sechste optische Verbindungsfaser OVF6 an die vierte optische Bandweiche BW4 und schließlich über die sich anschließende fünfte optische Verbindungsfaser OVF5 an die dritte optische Bandweiche

BW3 übertragen. Von der dritten optischen Bandweiche BW3 wird das optische L-Band-Signal $L\text{-}B_{\text{ein}}$ über die vierte optische Verbindungsfaser OVF4 an den zweiten Faseranschluß FA2 der optischen Faser OF abgegeben, über die optische Faser OF übertragen und am ersten Faseranschluß FA1 der optischen Faser OF über die dritte optische Verbindungsfaser OVF3 der zweiten optischen Bandweiche BW2 zugeführt. Über die am dritten Anschluß a3 der zweiten optischen Bandweiche BW2 angeschlossene zweite optische Verbindungsfaser OVF2 wird das optische L-Band-Signal $L\text{-}B_{\text{ein}}$ zum ersten Anschluß a1 der ersten optischen Bandweiche BW1 übertragen, in der das optische L-Band-Signal $L\text{-}B_{\text{ein}}$ ausgekoppelt und am zweiten Anschluß a2 abgegeben wird. Das erfindungsgemäß über den optischen Streckenabschnitt OSA übertragene optische L-Band-Signal $L\text{-}B_{\text{aus}}$ kann im folgenden – nicht in Fig. 1 dargestellt – zur Weiterverarbeitung einer Verarbeitungseinrichtung zugeführt werden.

Im Gegensatz zum optischen L-Band-Signal $L\text{-}B_{\text{ein}}$ wird das optische S^+ -Band-Signal $S^+\text{-}B_{\text{ein}}$ in einer zweiten, entgegengesetzt zur ersten Übertragungsrichtung $\overrightarrow{UR1}$ verlaufenden Übertragungsrichtung $\overrightarrow{UR2}$ übertragen, d. h. das optische S^+ -Band-Signal $S^+\text{-}B_{\text{ein}}$ breitet sich entgegengesetzt zum optischen C-Band-Signal $C\text{-}B_{\text{ein}}$ und entgegengesetzt zum optischen L-Band-Signal $L\text{-}B_{\text{ein}}$ in der optischen Faser OF aus. Das optische S^+ -Band-Signal $S^+\text{-}B_{\text{ein}}$ wird über den zweiten Anschluß a2 der zweiten optischen Bandweiche BW2 in die an den ersten Anschluß a1 der zweiten optischen Bandweiche BW2 angeschlossene dritte optische Verbindungsfaser OVF3 eingekoppelt und an den ersten Faseranschluß FA1 der optischen Faser OF geführt. Im Anschluß an die Übertragung des optischen S^+ -Band-Signals $S^+\text{-}B_{\text{ein}}$ über die optische Faser OF in zweiter Übertragungsrichtung $\overrightarrow{UR2}$ wird das optische S^+ -Band-Signal $S^+\text{-}B_{\text{ein}}$ am zweiten Faseranschluß FA2 abgegeben und über die vierte optische Verbindungsfaser OVF4 der dritten optischen Bandweiche BW3 zugeführt. Von der dritten optischen Bandweiche BW3 wird das S^+ -Band-Signal $S^+\text{-}B_{\text{ein}}$ über die fünfte optische Verbindungsfaser OVF5 dem dritten Anschluß a3 der vierten optischen Bandweiche BW4 zugeführt und in dieser ausgekoppelt sowie am zweiten Anschluß a2 das übertragene optische S^+ -Band-Signal $S^+\text{-}B_{\text{aus}}$ abgegeben. Das mit Hilfe der vierten optischen Bandweiche BW4 ausgekoppelte und über den optischen Streckenabschnitt OSA übertragene optische S^+ -Band-Signal $S^+\text{-}B_{\text{aus}}$ kann zur weiteren Verarbeitung einer weiteren Verarbeitungseinrichtung zugeführt werden – in Fig. 1 nicht dargestellt.

Die zur erfindungsgemäßen Verstärkung der im S^+ -Band übertragenen optischen WDM-Kanäle bzw. der optischen S^+ -Band-Signale $S^+\text{-}B_{\text{ein}}$ vorgesehenen Pumpeinheiten PU1, PU2 werden im dargestellten Ausführungsbeispiel wie folgt realisiert. In der ersten optischen Pumpeinheit PU1 wird ein erstes optisches Pumpsignal PS1 mit beispielsweise einer Pumpwellenlänge von 1340 nm erzeugt. In der zweiten optischen Pumpeinheit PU2 wird ein zweites optisches Pumpsignal PS2 mit einer Pumpwellenlänge 1360 nm gebildet, wobei die Pumpwellenlänge erfindungsgemäß aus dem Wellenlängenbereich von 1320 nm bis 1370 nm liegen gewählt werden kann. Hierbei wird die Amplitude des ersten und zweiten optischen Pumpsignals ps1, ps2 so gewählt ist, daß die Faserdämpfungsunterschiede im C-Band, L-Band und S^+ -Band der optischen Übertragungsfaser OF nahezu ausgeglichen werden. Durch den Einsatz einer ersten und zweiten optischen Pumpeinheit PU1, PU2 wird zusätzlich das sich erfindungsgemäß im S^+ -Band ausbildende Raman-Gewinnspektrum deartig geformt, daß die im optischen S^+ -Band liegenden WDM-Kanäle nahezu gleichmäßig verstärkt werden bzw. die verstärkten optischen S^+ -Band-Signale $S^+\text{-}B_{\text{ein}}$ ei-

nen vorgegebenen Amplitudenverlauf nach ihrer Übertragung über die optische Faser OF aufweisen.

Bei dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel wird hierzu beispielsweise ein Frequenzunterschied zwischen ersten und zweiten Pumpsignal PS1, PS2 von ca. 20 nm gewählt, um ein an die zu verstärkenden S^+ -Band-Signale $S^+\text{-}B_{\text{ein}}$ angepaßtes Raman-Gewinnspektrum zu realisieren. Das erste Pumpsignal ps1 wird durch die erste optische Pumpeinheit PU1 am Signalausgang se abgegeben und über die zehnte optische Verbindungsfaser OVF10 an den ersten Anschluß a1 der sechsten optischen Bandweiche BW6 übertragen. Analog dazu wird durch die zweite optische Pumpeinheit PU2 das zweite optische Pumpsignal ps2 am Signalausgang se abgegeben und über die neunte optische Verbindungsfaser OVF9 an den zweiten Anschluß a2 der sechsten optischen Bandweiche BW6 geführt. In der sechsten optischen Bandweiche BW6 werden das erste und zweite optische Pumpsignal ps1, ps2 miteinander gekoppelt und gemeinsam an den dritten Anschluß a3 der sechsten optischen Bandweiche BW6 weitergeleitet sowie über die achte optische Verbindungsfaser OVF8 an den zweiten Anschluß a2 der dritten optischen Bandweiche BW3 übertragen. Mit Hilfe der dritten optischen Bandweiche BW3 werden das erste und zweite optische Pumpsignal ps1, ps2 kontradirektional zum optischen S^+ -Band-Signal $S^+\text{-}B_{\text{ein}}$, d. h. in erster Übertragungsrichtung $\overrightarrow{UR1}$, in die vierte optische Verbindungsfaser OVF4 bzw. in die optische Faser OF eingekoppelt. Somit wird der optische Streckenabschnitt OSA mit Hilfe des ersten und zweiten optischen Pumpsignals ps1, ps2 kontradirektional gepumpt, d. h. die Pegel der im S^+ -Band übertragenen WDM-Kanäle werden kontradirektional zur Ausbreitungsrichtung mit Hilfe des ersten und zweiten optischen Pumpsignals ps1, ps2 angehoben bzw. verstärkt und somit die im S^+ -Band für herkömmliche Silikat-Glasfasern erhöhte Streckendämpfung verringert.

Eine derartige kontradirektionale Pumpkonfiguration resultiert in einer Tiefpaßcharakteristik mit einer Kopplungsgrenzfrequenz von ca. 10 kHz, da die Wechselwirkungslänge des sich in Gegenrichtung ausbreitenden optischen S^+ -Band-Signals $S^+\text{-}B_{\text{ein}}$ in einer Zeitspanne von ca. 0,1 ms durchlaufen wird.

Durch das kontradirektionale Pumpen der optischen Übertragungsfaser OF wird erfindungsgemäß ein sich im S^+ -Band ausbildendes Raman-Gewinnspektrum hervorrufen, welches die Streckendämpfung im S^+ -Band effektiv kompensiert bzw. die Pegel der im S^+ -Band übertragenen WDM-Kanäle in der optischen Faser OF verstärkt.

Desweiteren ist aufgrund der durch die kontradirektionale Pumpkonfiguration resultierende Tiefpaßcharakteristik mit einer Kopplungsgrenzfrequenz von ca. 10 kHz eine Modulation des ersten und/oder des zweiten Pumpsignals ps1, ps2 mit einem Datensignal ds bei einer Modulationsfrequenz deutlich größer 10 kHz möglich, wodurch beispielsweise ein Überwachungskanal für den optischen Streckenabschnitt OSA realisiert werden könnte. In Fig. 1 ist hierzu eine Signalquelle SQ zur Erzeugung eines Datensignales ds vorgesehen, die über eine Verbindungsleitung VL an einen Modulator M, beispielsweise einem Mach-Zehnder-Modulator, angeschlossen ist. Der Modulator M ist zwischen die zweite Pumpeinheit PU2 und der sechsten optischen Bandweiche BW6 in die neunte optische Verbindungsfaser OVF9 eingeschaltet. Das am Signalausgang se der zweiten Pumpeinheit PU2 abgegebene zweite optische Pumpsignal ps2 wird an den Modulator M übertragen und im Modulator M mit dem von der Datensignalquelle SQ erzeugten Datensignal ds moduliert. Das modulierte zweite optische Pumpsignal ps2' wird analog zum zweiten optischen Pumpsignal ps2 über die sechste optische Bandweiche BW6 sowie die

dritte optische Bandweiche BW3 in die optische Faser OF eingekoppelt. Nach der Übertragung über die optische Faser OF wird das modulierte zweite optische Pumpsignal ps2' mit Hilfe der zweiten optischen Bandweiche BW2 ausgekoppelt und beispielsweise einem an den zweiten Anschluß a2 angeschlossenen Demodulator DM zugeführt. Mit Hilfe des Demodulators wird das modulierte zweite optische Pumpsignal ps2' demoduliert und das Datensignal ds' zurückgewonnen. Das zurückgewonnen Datensignal ds' wird einer Überwachungseinrichtung UE zum Zwecke der Überwachung des optischen Streckenabschnitts OSA zugeführt sowie in der Überwachungseinrichtung UE ausgewertet.

Zur Modulation eines der beiden optischen Pumpsignale ps1, ps2 kann beispielsweise in ein weiteren Realisierungsmöglichkeit das Ansteuersignal einer der beiden Pumpeinheiten PU1, PU2, insbesondere der darin enthaltenen Lasereinheit, bereits mit dem Datensignal ds moduliert werden – nicht in Fig. 1 dargestellt.

Desweiteren ist das erfindungsgemäße Verfahren nicht ausschließlich auf eine Übertragung von optischen S⁺-Bandsignalen S⁺-B_{ein} zusätzlich zu C-Band-Signalen C-B_{ein} und L-Band-Signalen L-B_{ein} beschränkt, sondern in einem WDM-Übertragungssystem können gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren auch ausschließlich optische S⁺-Bandsignale S⁺-B_{ein} übertragen werden.

Die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist keinesfalls auf WDM-Übertragungssysteme beschränkt, sondern kann für die Realisierung von beliebigen optischen Übertragungsstrecken OSA eingesetzt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Übertragung von optischen Signalen (C-B_{ein}, L-B_{ein}) in herkömmlichen Übertragungsbandern und zusätzlichen optischen Signalen (S⁺-B_{ein}) im S⁺-Band über eine optische Faser (OF), **dadurch gekennzeichnet**, daß mindestens ein optisches Pumpsignal (ps1, ps2) zur Verstärkung aufgrund des Raman-Effektes der im S⁺-Band übertragenen zusätzlichen optischen Signale (S⁺-B_{ein}) in die optische Faser (OF) eingekoppelt wird, wobei die Wellenlänge des mindestens einen optischen Pumpsignals (ps1, ps2) im Wellenlängenbereich von 1320 nm bis 1370 nm liegt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Amplitude des mindestens einen optischen Pumpsignals (ps1, ps2) so gewählt ist, daß die Faserdämpfungsunterschiede im C-Band, L-Band und S⁺-Band der optischen Faser (OF) nahezu ausgeglichen werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß mindestens zwei optische Pumpsignale (ps1, ps2) mit unterschiedlicher Wellenlänge und/oder Lichtleistung in das optische Übertragungsmedium (OF) zur Anpassung der Pegel der verstärkten zusätzlichen optischen Signale (S⁺-B_{ein}) an einen vorgegebenen Amplitudenverlauf eingekoppelt werden.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß das mindestens eine optische Pumpsignal (ps1, ps2) kontradirektional zu den verstärkenden zusätzlichen optischen Signalen (S⁺-B_{ein}) in die optische Faser (OF) eingekoppelt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß das mindestens eine optische Pumpsignal (ps2) mit einem Datensignal (ds) zur Realisierung eines Überwachungskanals moduliert wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Modulationsfrequenz größer als 10 kHz

gewählt wird.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

OSA

